

## 明細書

## 形彫放電加工方法および装置

## 技術分野

本発明は工具電極と導電性の被加工物との間に形成された微小な隙間（“ギャップ”と呼ばれる）に放電を発生させることによって被加工物中に所要のキャビティを形作る形彫放電加工方法に関する。

## 背景技術

放電加工を行う前に、形作るべきキャビティに相補的な形状を有しそのキャビティよりもわずかに縮小されたサイズを有する工具電極が製作される。工具電極は、放電が誘起できる程度に被加工物に近接して配置される。微小なギャップは誘電性液で満たされる。

電力パルスがギャップに供給されると、遅延時間の後に、放電が発生し電流がギャップを介して流れ始める。遅延時間はギャップの状態次第であり予測できない。電力パルスの供給が中断されると、絶縁がギャップ中に回復される。こうして、放電がギャップに間欠的に発生すると、被加工物から材料が少しずつ除去される。除去された材料の小片はチップと呼ばれ、誘電性液によってギャップから洗い流される。ギャップは、放電を効率的に誘起できるサイズへ制御される。ギャップのサイズは、数 $\mu\text{m}$ ～数十 $\mu\text{m}$ である。工具電極は、被加工物材料の除去に応じて、被加工物へ向けてZ軸の方向に少しずつ移動させられる。

近年の形彫放電加工装置は、コンピュータ数値制御装置（Computerized Numerical Controller）と自動プログラミング装置を備えている。コンピュータ数値制御装置は、工具電極の移動、電力パルスの供給等をNCプログラムに従って制御する。形作るべきキャビティの寸法や表面粗さ、工具電極と被加工物の材質等を示すデータが、自動プログラミング装置へ入力される。自動プログラミン

グ装置は、そのようなデータに基づき、最小の加工時間でキャビティを形作るNCプログラムを自動的に作成する。キャビティを形成するプロセスは、電力パルス条件と送り量が設定された複数のステップへ分けられる。送り量は、工具電極が被加工物へ向かってZ軸方向に進行する距離である。工具電極が設定された送り量だけ移動すると、プロセスはNCプログラムに従って次のステップへ移行する。この時、電力パルス条件の設定が切り換えられる。電力パルス条件は、例えば、オン時間、オフ時間、電流ピーク、電圧を含む。第1のステップでは、送り量は、基準位置からの距離である。通常、基準位置は、被加工物の上面から、放電を誘起できるギャップのサイズ分だけ、Z軸方向に離隔した位置である。第1のステップでは、大きな電力パルスがギャップへ供給され、キャビティが被加工物中に荒加工される。大きな電力パルスをギャップに供給すると、加工に要する時間は短縮されるが加工表面は粗くなってしまう。第2のステップにおける送り量は、第1のステップが終了した時点の工具電極の位置からの距離である。第3のステップにおける送り量は、第2のステップが終了した時点の工具電極の位置からの距離である。プロセスが第2のステップ、第3のステップへ移行するにつれて、より小さい電力パルスがギャップへ供給される。最終の仕上げステップでは、キャビティの表面粗さを小さくすることを目的とする非常に小さな電力パルスが採用される。仕上げステップで、キャビティは所要の寸法へ形成されることが理想である。

実際には、被加工物から過剰に材料を除去してしまうことは致命的な失敗となるので、キャビティは所要の寸法よりも数 $\mu\text{m}$ ～十数 $\mu\text{m}$ 浅く形成されてしまう。キャビティの寸法は、キャビティの形成が終了した後、測定される。測定の前に、被加工物は洗浄され被加工物に付着しているチップは完全に除去される。こうして、測定寸法と所要の寸法との誤差が求められる。数 $\mu\text{m}$ ～十数 $\mu\text{m}$ の寸法の余

裕の材料が残されることは、重大な問題とならないかもしれない。しかしながら、近年、数 $\mu\text{m}$ 以下、製品によっては、1 $\mu\text{m}$ の寸法精度が要求されるようになってきた。小さい面粗さを損なうことなく余裕の材料を除去するための2度目の加工は、“追加工”と呼ばれる。

- 5 図5は、追加工前の、工具電極17と被加工物18を示している。Zは、数 $\mu\text{m}$ ~十数 $\mu\text{m}$ の、除去すべき材料の寸法を示している。Aは、仕上げステップが終了した時点の工具電極の位置を示している。値Zに等しい送り量dZがNCプログラムに設定されている。多くの場合、追加工では、工具電極17が位置Aから位置Bへ移動しても、放電がまったく誘起されずNCプログラムが終了してしま  
10 まうという問題が生じる。放電を誘起できるギャップのサイズは、主に、電力パルスの大きさ次第である。しかしながら、同じ電力パルス条件の下でも、放電を誘起できるギャップのサイズは、チップの量に因り異なる。値Hは、仕上げステップの終了時点におけるギャップのサイズを示している。値Gは、追加工の開始時点におけるギャップのサイズを示している。工具電極と被加工物間に発生する  
15 放電は一次放電と呼ばれる。微小なチップを経由して発生する放電は二次放電と呼ばれる。チップは、加工中、ギャップに浮遊し被加工物に付着している。より多量のチップが二次放電を頻発させれば、ギャップのサイズはより大きくなることが知られている。追加工の開始時点では、測定時の洗浄に因り、チップがほとんど存在していない。したがって、値HとGとの差eが、値dZよりも大きいと、  
20 放電加工がまったく達成されない。

日本特許公報2001-9639は、ギャップのサイズがばらつくことを防止するため、追加工前に導電性粉末を被加工物の表面へ付着させることを開示している。

日本特許公報60-3933は、加工時間を設定可能なタイマ回路を備えた放

電加工装置を開示している。微小な材料を除去する仕上げ加工で、送り量の代わりに加工時間が設定値に達したときに加工を終了させることができる。

本発明の目的は、数 $\mu\text{m}$ ～十数 $\mu\text{m}$ 程度の微小な寸法の材料を放電によって正確に除去する形彫放電加工方法および装置を提供することである。

## 5 発明の開示

その目的を達成するため、本発明の一側面によれば、形彫放電加工方法は、加工条件を設定するステップと、除去体積（ $V$ ）を求めるステップと、設定された加工条件に対応する除去体積速度（ $V_m$ ）を求めるステップと、除去体積（ $V$ ）と除去体積速度（ $V_m$ ）に基づいて加工時間（ $T$ ）を設定するステップと、設定  
10 された加工条件の下で被加工物を放電加工するステップと、放電加工の開始から設定加工時間（ $T$ ）が経過したとき放電加工を終了するステップとを含む。

本発明の他の側面によれば、形彫放電加工方法は、加工条件を設定するステップと、除去体積（ $V$ ）を求めるステップと、設定された加工条件に対応する放電一発当たりの除去体積（ $V_p$ ）を求めるステップと、除去体積（ $V$ ）と放電一発  
15 当たりの除去体積（ $V_p$ ）に基づいて放電回数（ $P$ ）を設定するステップと、設定された加工条件の下で被加工物を放電加工するステップと、放電加工の開始から設定放電回数（ $P$ ）が終了したとき放電加工を終了するステップとを含む。

好ましくは、除去体積（ $V$ ）は、除去すべき材料の寸法（ $d$ ）と除去面積（ $S$ ）に基づいて求められる。

20 本発明のさらに他の側面によれば、工具電極を使用して被加工物を加工する形彫放電加工装置は、

0.2 A～2 Aの電流ピークと0.5  $\mu\text{s}$ ～5  $\mu\text{s}$ のオン時間を有する電流パルスを、工具電極と被加工物間に形成されるギャップに供給する装置（1）と、

除去体積速度（ $V_m$ ）が加工条件に関連付けられたデータベースと、除去体積

- (V) を記憶する記憶装置 (40) と、  
加工条件を設定するための入力装置 (20) と、  
設定された加工条件に対応する除去体積速度 ( $V_m$ ) を記憶装置から抽出し、  
除去体積 (V) と除去体積速度 ( $V_m$ ) に基づいて加工時間 (T) を演算する演  
5 算装置と、  
放電加工の開始から加工時間 (T) が経過すると放電加工を終了させる装置と  
を含む。  
本発明のさらに他の側面によれば、工具電極を使用して被加工物を加工する形  
彫放電加工装置は、  
10 0.2 A ~ 2 A の電流ピークと 0.5  $\mu$  秒 ~ 5  $\mu$  秒のオン時間を有する電流パ  
ルス、を、工具電極と被加工物間に形成されるギャップに供給する装置 (1) と、  
放電一発あたりの除去体積 ( $V_p$ ) が加工条件に関連付けられたデータベース  
と、除去体積 (V) を記憶する記憶装置 (40) と、  
加工条件を設定するための入力装置 (20) と、  
15 設定された加工条件に対応する放電一発あたりの除去体積 ( $V_p$ ) を記憶装置  
から抽出し、除去体積 (V) と放電一発あたりの除去体積 ( $V_p$ ) に基づいて放  
電回数 (P) を演算する演算装置と、  
放電加工の開始から放電回数 (P) が終了すると放電加工を終了させる装置と  
を含む。  
20 本発明によれば、同じ電力パルス条件の下で生じるギャップのサイズのばらつ  
きが、送り量よりも大きい場合でも、微小な寸法の材料を除去することができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の形彫放電加工装置のブロック図である。

図2は、図1のゲート信号発生器のブロック図である。

図3は、本発明の形彫放電加工方法を示すフローチャートである。

図4は、本発明の形彫放電加工方法を示すフローチャートである。

図5は、追加工前の工具電極と被加工物の断面図である。

発明を実施するための最良な形態

- 5 図1、2、3、4、5を参照して、本発明による形彫放電加工装置および方法が詳細に説明される。

図1中に示されるように、形彫放電加工装置は、形彫放電加工機に加えて、電源装置1と制御装置2を含んでいる。形彫放電加工機は、工具電極17が取り付けられるヘッド3と、被加工物18が固定されるテーブル4を含んでいる。ヘッド3はコラム（図示しない）に設けられリニアサーボモータ91によってZ軸の方向に移動可能である。テーブル4はサドル5上に載置されリニアサーボモータ92によってX軸の方向に移動可能であり、サドル5はベッド上に載置されリニアサーボモータ93によってY軸の方向に移動可能である。Z軸は垂直軸であり、直交するXY軸は水平軸である。

- 15 電源装置1は、0.2A～2Aの電流ピークと0.5μ秒～5μ秒のオン時間を有する電流パルスギャップに繰り返し供給できる手段の一例である。電源装置1は、スイッチング回路と、スイッチング回路へ直列に接続された直流電源16とを含む。スイッチング回路は、スイッチング素子SWと電流制限抵抗素子Rと逆流阻止ダイオードDが直列に接続された直列回路11、12、13、14、15-1～15-Nを含んでいる。多数の直列回路11、12、13、14、15-1～15-Nは互いに並列に接続されている。直流電源16の一方の極は工具電極17へ接続され他方の極が被加工物18へ接続されている。直流電源16の出力電圧は、90V、120V、150V、200Vへ設定可能である。電源装置1と形彫放電加工機は、シールド線や同軸ケーブルのような低インダクタン

ス線 19 によって接続されている。ギャップに流れる電流パルスのオン時間や電流ピークは、多数のスitching素子 SW のオン／オフ動作によって定められる。スitching素子 SW は、1  $\mu$  秒以下、好ましくは 500 ナノ秒の高速でオン／オフ動作が可能な電界効果トランジスタである。こうして、0.5  $\mu$  秒～5  $\mu$  秒のオン時間を有する電流パルスをギャップに供給することができ、放電の繰り返し周波数を増大することができる。

直列回路 15-1～15-N は、それぞれ 30  $\Omega$  の電流制限抵抗素子 R を含み、荒加工から仕上げステップに使用される。例えば、4 個の直列回路 15-1～15-4 のみが 90 V の直流電源 16 に接続された場合、12 A の電流ピークを有する電流パルスをギャップへ供給することができる。

直列回路 11～14 は、2 A 以下の電流ピークを有する電流パルスをギャップへ供給するための回路である。直列回路 11～14 は、それぞれ、450  $\Omega$ 、240  $\Omega$ 、120  $\Omega$ 、60  $\Omega$  の電流制限抵抗素子 R を含む。0.2 A の電流ピークを有する電流パルスが、90 V の直流電源 16 から直列回路 11 を通ってギャップへ供給される。約 0.37 A、0.75 A、1.5 A の電流ピークを有する電流パルスが、それぞれ、直流電源 16 から直列回路 12、13、14 を通ってギャップへ供給される。直列回路 11～14 は、ギャップを介して流れる一つの電流パルスのエネルギーを一定に制御できるので、追加工に好適である。例えば、銅の工具電極を使用して鋼の被加工物の 5×10 mm<sup>2</sup> の面積に対して追加工が行われるとする。その場合、1  $\mu$  秒のオン時間、0.4 A の電流ピークを有する電流パルスをギャップへ供給することによって、0.08  $\mu$  m/分～0.1  $\mu$  m/分程度の速度で材料が除去される。

好ましくは、150  $\Omega$  以上の抵抗素子が接続された 200 V 以上の追加の直流電源（図示されていない）が、直流電源 16 に並列に接続される。このような追

加の直流電源を使用することによって、ギャップが拡大され、結果として追加工が安定する。加えて、電圧がギャップに印加されてから放電が発生するまでの遅延時間が最小化される。

制御装置 2 は、演算装置 10、入力装置 20、表示装置 30、記憶装置 40、  
5 ゲート信号発生器 50、位置認識装置 80、モータ制御回路 90 を含む。演算装置 10 は、少なくとも 1 つの CPU、キャッシュメモリ、ROM、CPU コントローラ、いくつかのインタフェースを含む主制御回路である。好ましくは、演算装置 10 は、コンピュータ支援設計システム (Computer Aided Design System) を含み、キャビティ又は工具電極 17 の三次元形状データを有する。入力装置 2  
10 0 は、キーボード、スイッチ、マウス、記憶媒体としてのドライブ装置を含む。表示装置 30 は、CRT 又は LCD である。記憶装置 40 は、メモリモジュール (SDRAM) 及びハードディスクドライブである。モータ制御装置 90 は、演算装置 10 からの移動指令データに従い、リニアサーボモータ 91、92、93 を制御する。位置検出信号が、彫削放電加工機に取り付けられたリニアスケール  
15 (図示されていない) からモータ制御装置 90 と位置認識装置 80 へ送られている。位置認識装置 80 は、設定された送り量と検出位置を比較している。

制御装置 2 は、さらに、加工時間計数装置 60 と放電回数計数装置 70 のうち少なくとも一方を含む。加工時間計数装置 60 は、例えば、比較器、加算器、クロックパルス発生器とから成る。放電回数計数装置 70 は、たとえば、比較器と  
20 カウンタから成る。放電検出装置 6 は、放電に因るパルス電流がギャップを介して流れ始めたことを検出すると、検出信号 S2 を発生する。検出信号 S2 は、演算装置 10、ゲート信号発生器 50、放電回数計数装置 70 へ供給される。

ゲート信号発生器 50 は、図 2 を参照して、詳細に説明される。ゲート信号発生器 50 は、選択回路 51 と、オフ時間を計数するオフ時間計数器 52 と、オン



時間を計数するオン時間計数器 5 3 とを含む。選択回路 5 1 は、主に、メモリのような記憶回路から成る。演算装置 1 0 は、電流ピークの設定値に従って、選択回路 5 1 へ選択データ S T を供給する。選択回路 5 1 は、選択データ S T に従って、ゲート信号 G 1 ~ G n のうち 1 つ以上の信号を出力する。選択回路 5 1 の各  
5 出力端子は、AND ゲート 5 4 を介して、スイッチング素子 S W のゲートへ接続されている。演算装置 1 0 は、オフ時間計数器 5 2 へ、オフ時間の設定値を示すデータ O F を供給する。オン時間計数器 5 3 の出力信号 O 1 がオフになる時、オフ時間計数器 5 2 は計数を開始する。計数がオフ時間の設定値に到達したとき、オフ時間計数器 5 2 の出力信号 S 1 はオンになり計数は消去される。演算装置 1  
10 0 は、オン時間計数器 5 3 へ、オン時間の設定値を示すデータ O N を供給する。オフ時間計数器 5 2 の出力信号 S 1 がオンになる時、オン時間計数器 5 3 は計数を開始し信号 O 1 を AND ゲート 5 4 へ供給する。計数がオン時間の設定値に到達したとき、オン時間計数器 5 3 の出力信号 O 1 はオフになり計数は消去される。この時、出力信号 O 1 の反転信号 O 2 が、オンになり、オフ時間計数器 5 2 の計  
15 数を開始させる。演算装置 1 0 はデータ O C をオン時間計数器 5 3 へ選択的に供給し、オン時間計数器 5 3 はデータセクタ (図示されていない) を備えている。もし、データ O C がオン時間計数器 5 3 へ供給されていれば、オン時間計数器 5 3 は検出信号 S 2 を入力した時に計数を開始する。

記憶装置 4 0 中に、放電一発当たりの除去体積  $V_p$  ( $\text{mm}^3$ ) と除去体積速度  $V_m$  ( $\text{mm}^3/\text{分}$ ) がデータベースの形式で記憶されている。放電一発当たりの除去体積  $V_p$  と除去体積速度  $V_m$  は、加工条件と関連付けられている。加工条件は、工具電極 1 7 と被加工物 1 8 の材質、電力パルス条件を含む。位置  $V_p$  は、一発の放電によって被加工物 1 8 から除去される材料の体積である。除去体積速度  $V_m$  は、単位時間当たりに除去される材料の体積である。値  $V_p$  と  $V_m$  は実験によ

り求められる。

本発明による形彫放電加工方法が、図3を参照して詳細に説明される。その方法は、追加加工プロセスにおいて加工時間計数装置60を使用して実行される。

ステップS1で、入力装置20を使用して、除去すべき材料の寸法Zに等しい送り量dが設定される。図5中に示されるように、工具電極17は、被加工物18からギャップのサイズGだけ離隔した位置Cへ移動させられる。ステップS2で、入力装置20を使用して除去面積S (mm<sup>2</sup>) が設定され設定値が記憶装置40中に記憶される。あるいは、演算装置10が、キャビティ又は工具電極17の3次元形状データから除去面積Sを設定し、設定値が記憶装置40中に記憶される。仕上げステップで仕上げられた小さい面粗さを損なうことなく寸法が1 μm ~ 十数 μ、多くの場合1 μm ~ 5 μmの材料を除去するための加工条件が設定される。そのような加工条件は、5 μ秒以下のオン時間、0.2 A ~ 2 Aのピーク電流を含む。設定された送り量dと加工条件は、NCプログラム中に記述されて記憶装置40中に記憶される。ステップS3で、演算装置10は、記憶装置40から除去面積Sと送り量dを読み出し、除去体積V (mm<sup>3</sup>) を計算する。除去体積Vは、次の式により計算される。

$$V = S \cdot d$$

ステップS4で、演算装置10は、設定された加工条件に対応する除去体積速度Vmを記憶装置40中のデータベースから抽出する。ステップS5で、演算装置10は、さらに除去体積Vを読み出し、除去体積Vの材料を除去するために必要な加工時間T (分) を次の式により算出する。

$$T = V / V_m$$

演算装置10は、値Tを、計数装置60中の比較器のデータ端子に設定する。ステップS6で、演算装置10はNCプログラムを解読し、ゲート信号発生器50

ヘデータON、OF、OCを供給し、モータ制御装置90へ指令信号を供給する。  
こうして、電源装置1の電圧が直列回路11～14を介してギャップに印加され、  
設定された加工条件で放電加工が始まる。演算装置10は、放電検出装置6から  
検出信号S2を受け取ると、計数装置60はクロックパルスを計数する。ステッ  
5 プS7で、計数が設定値Tに一致した時、比較器が終了信号を演算装置10へ供  
給する。演算装置10は、終了信号に応答して、加工時間計数装置60の動作を  
停止しモータ制御装置90への指令信号の供給を停止する。さらに、演算装置1  
0は、ゲート信号発生器50の選択回路51中の選択データSTを消去する。こ  
うして、放電加工が終了する。

10 本発明による形彫放電加工方法が、図4を参照して詳細に説明される。その方  
法は、追加工プロセスにおいて放電回数計数装置70を使用して実行される。

ステップ1～3についての説明は、先になされているので省略される。ステッ  
プS8で、演算装置10は、設定された加工条件に対応する放電一発あたりの除  
去体積V<sub>p</sub>を記憶装置40中のデータベースから抽出する。ステップS9で、演  
15 算装置10は、さらに除去体積Vを読み出し、除去体積Vの材料を除去するた  
めに必要な放電回数Pを次の式により算出する。

$$P = V / V_m$$

演算装置10は、値Pを、計数装置70中の比較器のデータ端子に設定する。ス  
テップ6と同様にステップS10で、電源装置1の電圧が直列回路11～14を  
20 介してギャップに印加され、設定された加工条件で放電加工が始まる。計数装置  
70は、検出信号S2を計数する。ステップS11で、放電回数としての計数が  
設定値Pに一致した時、比較器が終了信号を演算装置10へ供給する。演算装置  
10は、終了信号に応答して、放電回数計数装置70の動作を停止しモータ制御  
装置90への指令信号の供給を停止する。さらに、演算装置10は、ゲート信号

発生器 5 0 の選択回路 5 1 中の選択データ S T を消去する。こうして、放電加工が終了する。

実施例は発明の本質とその実用的な応用を説明するために選ばれた。上述の記述を参照して種々の改良が可能である。発明の範囲は添付の特許請求の範囲によ

5    って定義される。

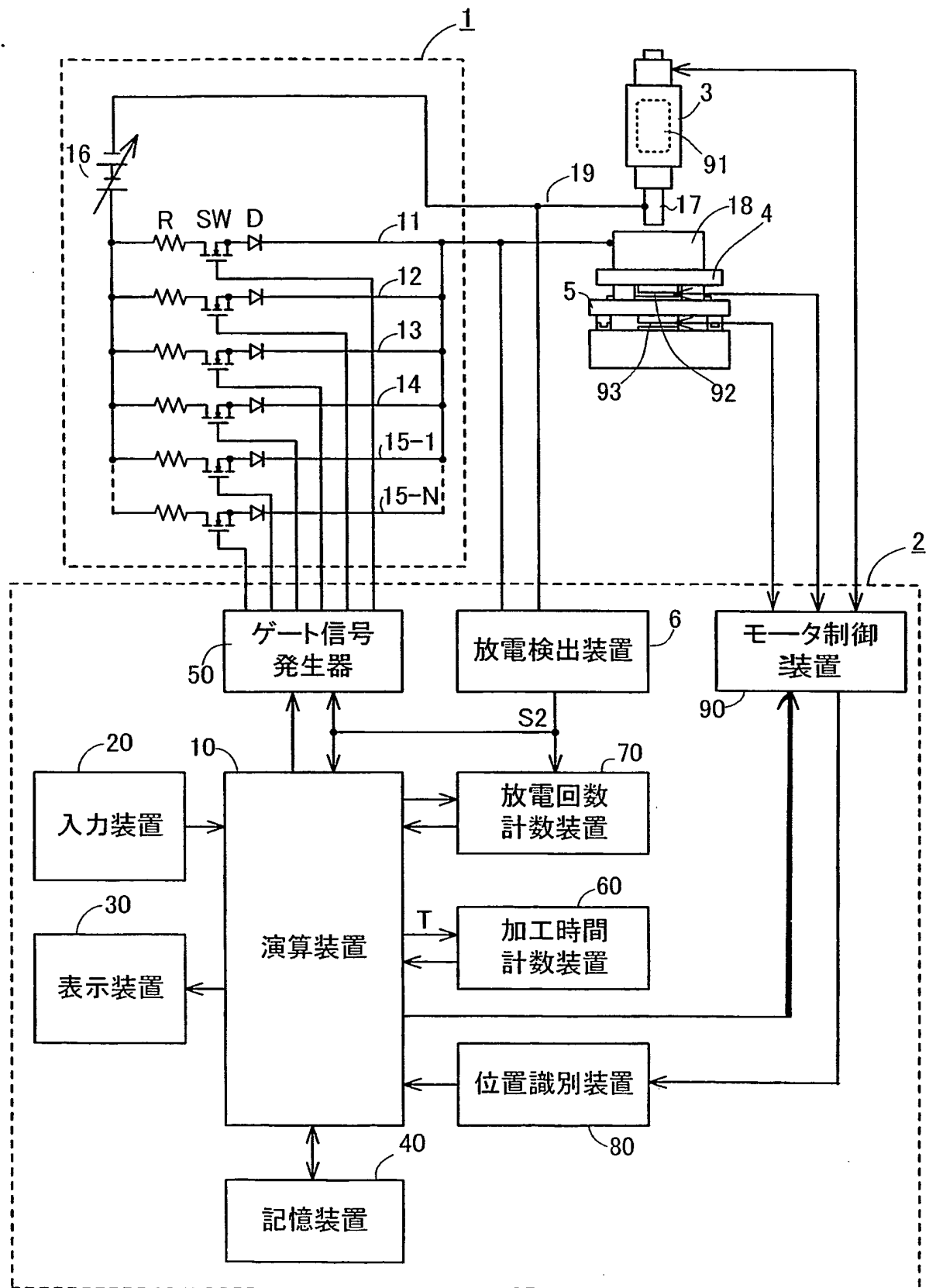
## 請求の範囲

1. 加工条件を設定するステップと、  
除去体積（V）を求めるステップと、  
設定された加工条件に対応する除去体積速度（Vm）を求めるステップと、
- 5 除去体積と除去体積速度に基づいて加工時間（T）を設定するステップと、  
設定された加工条件の下で被加工物を放電加工するステップと、  
放電加工の開始から設定加工時間が経過したとき放電加工を終了するステップを含む形彫放電加工方法。
2. 除去体積は、除去すべき材料の寸法（d）と除去面積（S）に基づいて
- 10 求められる請求の範囲 1 に記載の形彫放電加工方法。
3. 加工条件を設定するステップと、  
除去体積（V）を求めるステップと、  
設定された加工条件に対応する放電一発当たりの除去体積（Vp）を求めるステップと、
- 15 除去体積と放電一発当たりの除去体積に基づいて放電回数（P）を設定するステップと、  
設定された加工条件の下で被加工物を放電加工するステップと、  
放電加工の開始から設定放電回数が終了したとき放電加工を終了するステップを含む形彫放電加工方法。
- 20 4. 除去体積は、除去すべき材料の寸法（d）と除去面積（S）に基づいて  
求められる請求の範囲 3 に記載の形彫放電加工方法。
5. 工具電極を使用して被加工物を加工する形彫放電加工装置において、  
0. 2 A～2 Aの電流ピークと0. 5  $\mu$ 秒～5  $\mu$ 秒のオン時間を有する電流パルスを、工具電極と被加工物間に形成されるギャップに供給する装置と、

- 除去体積速度 ( $V_m$ ) が加工条件に関連付けられたデータベースと、除去体積 ( $V$ ) を記憶する記憶装置と、
- 加工条件を設定するための入力装置と、
- 設定された加工条件に対応する除去体積速度を記憶装置から抽出し、除去体積と
- 5 除去体積速度に基づいて加工時間 ( $T$ ) を演算する演算装置と、
- 放電加工の開始から加工時間 ( $T$ ) が経過すると放電加工を終了させる装置とを含む形彫放電加工装置。
6. 工具電極を使用して被加工物を加工する形彫放電加工装置において、
0. 2 A ~ 2 A の電流ピークと 0. 5  $\mu$  秒 ~ 5  $\mu$  秒のオン時間を有する電流パルス
- 10 スを、工具電極と被加工物間に形成されるギャップに供給する装置と、
- 放電一発あたりの除去体積 ( $V_p$ ) が加工条件に関連付けられたデータベースと、
- 除去体積 ( $V$ ) を記憶する記憶装置と、
- 加工条件を設定するための入力装置と、
- 設定された加工条件に対応する放電一発あたりの除去体積を記憶装置から抽出し、
- 15 除去体積と放電一発あたりの除去体積に基づいて放電回数 ( $P$ ) を演算する演算装置と、
- 放電加工の開始から放電回数が終了すると放電加工を終了させる装置とを含む形彫放電加工装置。

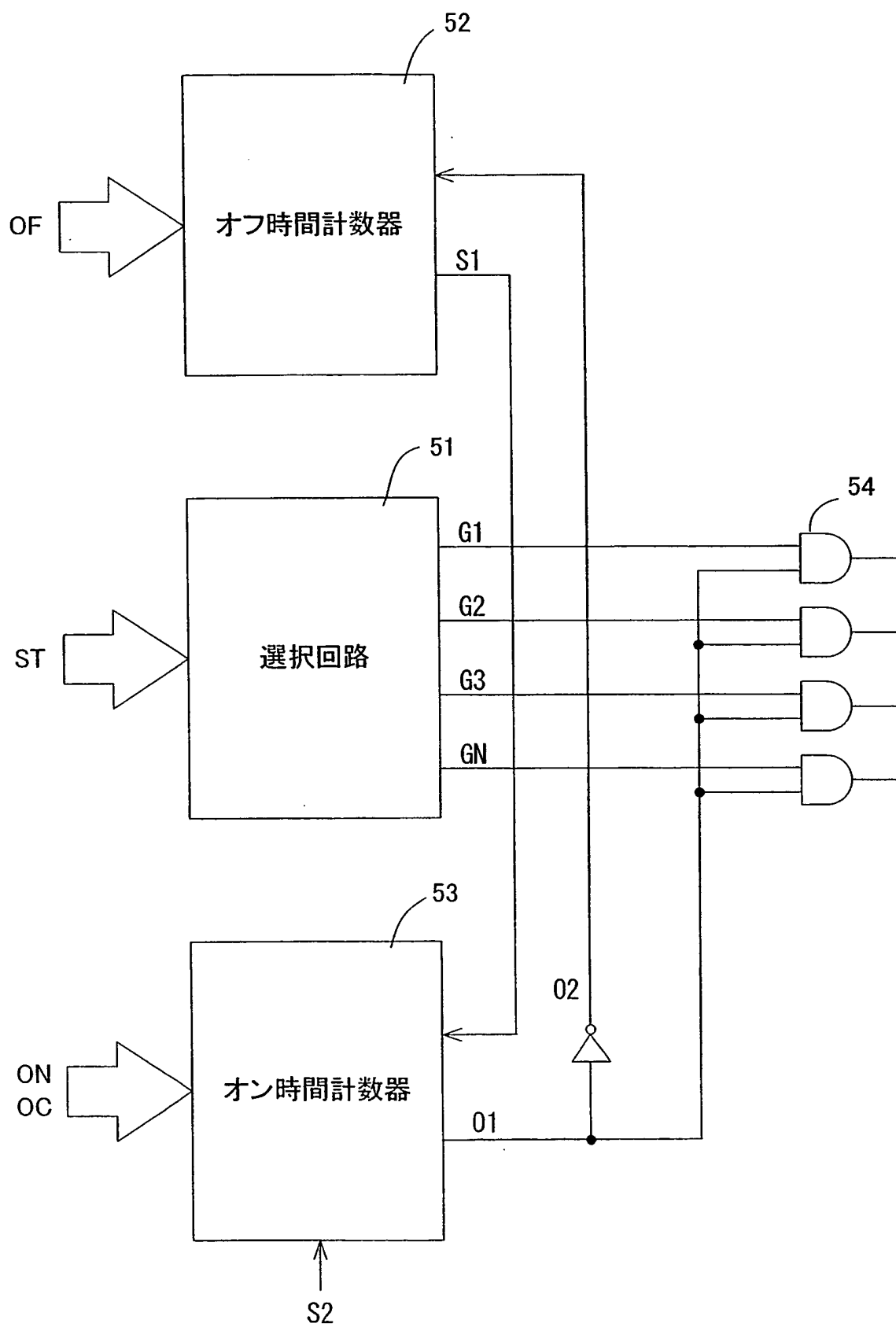
1/4

FIG. 1



2/4

FIG. 2





3/4

FIG. 3

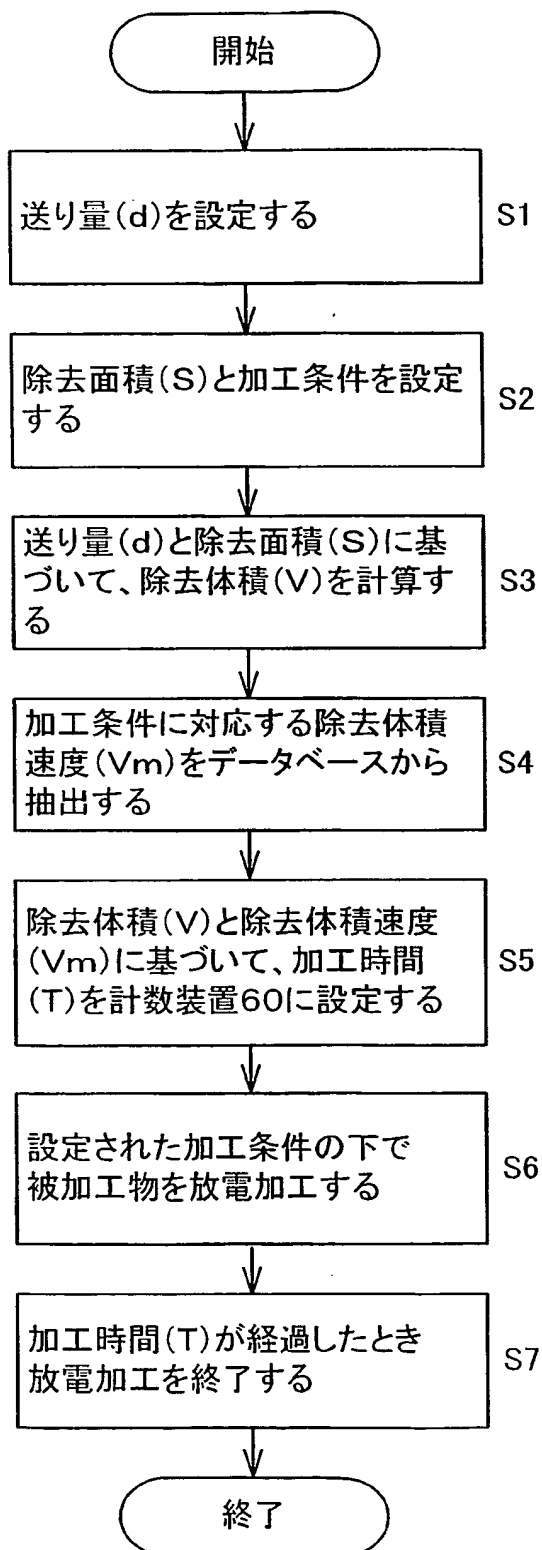
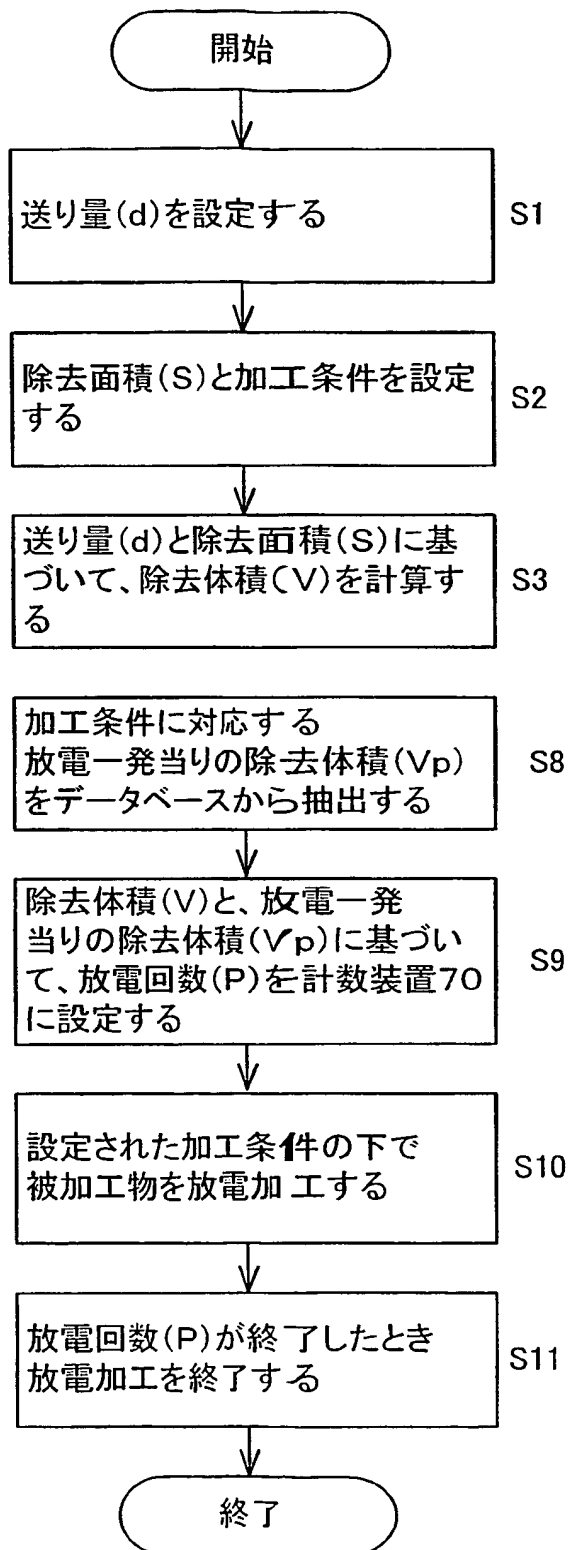


FIG. 4



4/4

FIG. 5

